

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Možnosti využití elektronického roznětu v podzemním stavitelství
Electronic Blast Use in Underground Construction

Student:

Taťána Petrášová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Ďuriš

Ostrava 2012

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Anotace

Práce začíná historickým úvodem, kde je stručně popsán vývoj trhací techniky a trhacích prací. Poté následuje vysvětlení základních pojmů a popsání jednotlivých druhů roznětů.

Náplní bakalářské práce jsou možnosti využití elektronického roznětu v podzemním stavitelství, seznámení se s elektrickou a elektronickou rozbuškou a jejich odlišnostmi. Elektronický roznět se nevyužívá jen v podzemním stavitelství, ale i v jiných oblastech, např. na povrchu v kamenolomech.

Práce je zaměřena na příklady použití elektronického roznětu, zhodnocení důvodů pro jeho zavedení při trhacích pracích. Součástí práce je popis elektronické rozbušky a zpracování samotných návrhů roznětů, pro ražené podzemní dílo profilu 00-0-9 a pro kalotu většího silničního tunelu, s použitím elektronického roznětu.

Na závěr jsou uvedeny příklady využití elektronického roznětu, zhodnocení zavedení a přínosy pro trhací práce.

Annotation

The work begins with a historical introduction, which briefly describes the development of blasting and blasting techniques. This is followed by an explanation of basic concepts and description of different types of blasting.

The content of the thesis, the possibilities of electronic blast in the underground construction, familiarity with electric and electronic detonators and their differences. Electronic blast is not used only in the underground construction, but also in other areas, such as on the surface of the quarries.

The work is focused on examples of electronic blast, evaluation of the reasons for its introduction during blasting. The work is a description of the electronic detonators and blasting process itself proposals for mined underground work profile for 00-0-9 and a larger road tunnel top heading, using the electronic blast.

Finally the examples of electronic blast, implementation and evaluation of benefits for blasting.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod	8
1. Historický vývoj trhačích prací	9
2. Základní pojmy trhačích prací	10
2.1 Prostředky trhačí techniky	11
2.1.1 Průmyslové trhaviny	12
2.2 Rozněty náloží	13
2.2.1 Roznět bleskovicí	13
2.2.2 Roznět elektrický	15
2.2.3 Roznět elektronický	17
3. Popis elektronické rozbušky, její používání a odlišnosti	18
3.1 Popis elektrické rozbušky	19
3.1.1 Výhody elektrických rozbušek	22
3.2 Popis elektronické rozbušky	24
3.2.1 Princip fungování elektronické rozbušky	25
3.3 Označení elektronických rozbušek	27
3.4 Druhy elektronických rozbušek	27
3.4.1 Elektronická rozbuška E*Star	27
3.4.2 Elektronická rozbuška I-kon TM	31
3.5 Výhody elektronických rozbušek	34
3.6 Nevýhody elektronických rozbušek	34
3.7 Odlišnosti a rozdíly mezi elektrickou a elektronickou rozbuškou	35
3.7.1 Základní konstrukční rozdíly	35
3.8 Používání elektronických rozbušek	37
3.9 Zkušenosti při použití elektronických rozbušek	37
3.10 Důvody zavedení elektronických rozbušek	37
3.11 Přínosy při používání elektronických rozbušek	39
4. Návrh roznětu pro ražené podzemní dílo	40
4.1 Profil díla 00-0-9	41
4.2 Kalota silničního tunelu	45
4.3 Zhodnocení a porovnání výsledků	48
5. Zhodnocení a závěr	49
Seznam zdrojů a použité literatury	51
Seznam obrázků	53

Seznam použitých značek a symbolů

A	Ampér – fyzikální jednotka proudu
ČBÚ	Český báňský úřad
EIM	elektronický iniciační modul
CHZJD	Chemické závody Juraja Dimitrova, chemický podnik, nyní závod Istrochema
LAN	Local Area Network - lokální síť, místní síť - počítačová síť, která pokrývá malé geografické území (např. domácnost)
MPa	mega Pascal – fyzikální jednotka tlaku
mJ/ Ω	miliJoul/Ohm – fyzikální jednotka impulsu
ms	milisekundy – fyzikální jednotka času
SBÚ	Státní báňský úřad
TP	Trhací práce
VCHZ	Východočeské chemické závody, chemický národní podnik, nyní závod Explozia
WLAN	Wireless Local Area Network – bezdrátová lokální síť

Úvod

V úvodu práce se zabývám historickým vývojem trhací techniky a trhacích prostředků. Na historický úvod navazuje kapitola věnována základním pojmům používaných v trhací technice a prostředkům trhací techniky, jako jsou např. klasické průmyslové trhaviny. Poté jsou stručně rozebrány jednotlivé typy roznětů.

V navazující kapitole se zabývám popisem elektrické a elektronické rozbušky, jejich srovnáním, dále výhodami a nevýhodami elektronické rozbušky, příklady použití a důvody pro jaké byla elektronická rozbuška zavedena do praxe při trhacích pracích.

V kapitole, která nejvíce vystihuje a popisuje zadání mé bakalářské práce, se věnuji zpracování samotných návrhů roznětů, a to pro ražené podzemní dílo profilu 00-0-9 a pro kalotu většího silničního tunelu, s použitím elektronického roznětu.

V závěru práce jsem shrnula poznatky získané během zpracovávání bakalářské práce, důvody zavedení elektronických rozbušek a přínosy pro trhací práce nejen v podzemním stavitelství, ale i na povrchu.

1. Historický vývoj trhacích prací

Samotné trhací práce v životě člověka už od pradávných dob hrály a dodnes stále hrají významnou roli. V sebemenším množství výbušiny je skryta obrovská energie, kterou si mnozí z nás nedokážou ani zdaleka představit. Tato energie může pro člověka vykonat užitečnou práci, ale pohlédneme-li na to z druhé stránky, pak také může v nezodpovědném zacházení způsobit veliké škody.

Předpokládá se, že jako první se začal používat černý prach, a to ve staré Číně. Do Evropy se poté dostal s příchodem arabských kupců a poutníků. V Evropě byl do poloviny 19. století považován za jedinou prakticky využívanou výbušinu, která našla své uplatnění zejména ve vojenství, v pozdější době také v odvětvích civilních průmyslových. Složení černého prachu se skládá z 1 dílu síry, 2 dílů dřevěného uhlí a 6 dílů ledku. Další velmi významné hledisko použití černého prachu je zahrnuto v hornictví, kdy bylo černého prachu poprvé použito pro odstřel horninového masivu při ražení Horní Bobří štoly v Báňské Štiavnici dne 8.2.1627.

O mnoho let později, s rozvojem techniky a vynálezů, byl v roce 1846 vynalezen nitroglycerin Ascaniem Sobrerem, a poté hlinkový dynamit v roce 1867 Alfredem Nobelem. Oba dva vynálezy daly podnět a základ k výrobě moderních, mnohem výkonnějších průmyslových trhavin. Říká se, že tímto okamžikem začala éra rychlého rozvoje všech prostředků trhací techniky. Samotná výroba dynamitu však do této doby nebyla nijak známá a do výroby ji uvedl významný švédský chemik Alfred Nobel. Na našem území zavedl dynamit do praxe v srpnu roku 1870 v Zámčích u Prahy.

V naší republice je výroba výbušin spjata s první československou akciovou továrnou Explozia v Pardubicích – Semeně, která začala první typy výbušin vyrábět již v roce 1923. V současnosti jsou průmyslové trhavinové výrobky vyráběny v Pardubicích v závodě Explozia, dřívějším závodě VCHZ Pardubice. Kvalita jejich výrobků je známá po celém světě.

Nejčastějším způsobem použití trhacích prací je rozpojování užitkových nerostů a průvodních hornin na povrchu i v podzemí. Kvalita trhacích prací je do jisté míry závislá na sortimentu výrobků trhací techniky. [2]

2. Základní pojmy trhacích prací

Mezi základní pojmy trhací techniky si uvedeme jen ty, které se používají při běžných trhacích pracích a v běžném životě a také ty, které se používají při návrhu roznětu pro ražené podzemní dílo.

K nejzákladnějším pojmům patří:

- výbuch,
- výbuchové hoření,
- detonace,
- bleskovice,
- elektrický palník a pilule,
- iniciace,
- rozbuška,
- rozněcovadlo,
- roznětnice,
- zápalnice
- zážeh.

• **Výbuch** – je fyzikální či fyzikálně-mechanický děj vedoucí k náhlému uvolnění energie. Nejčastěji se setkáváme s výbuchem chemickým, způsobeným rychlými chemickými reakcemi, u něhož se uvolňuje obrovská energie. Může probíhat buď jako výbuchové hoření nebo jako detonace.

• **Výbuchové (explozivní) hoření** – je chemický výbuch, jehož výbuchová rychlost je menší než rychlost zvuku ve zplodinách výbuchového hoření. Rozpojovací účinek je způsoben tlakem plynných povýbuchových zplodin.

• **Detonace** – je chemický výbuch, při němž ve výbušině vzniká detonační vlna pohybující se výbušinou takovou rychlostí, která je větší než je rychlost zvuku ve zplodinách výbuchu. K rozpojení dochází tlakem povýbuchových zplodin a navíc také tzv. dynamickým rázem (tj. soustavou napěťových a rázových vln). Tímto způsobem vybuchuje většina současně používaných průmyslových trhavin.

• **Bleskovice** – je prostředek sloužící k přenosu detonačního impulsu na různou vzdálenost a slouží také k iniciaci rozbušek či trhavinových náloží.

- **Elektrický palník** – je upravená elektrická pilule používána pro zážeh zápalnice, rozbušky, černého prachu nebo pyrotechnické složky.
- **Elektrická pilule** – je základním prvkem elektrických rozněcovadel zajišťující přeměnu elektrické energie na energii tepelnou.
- **Iniciace** – často nazývaná jako roznět, je počáteční podnět vyvolávající výbuch.
- **Rozbuška** – je prostředek používaný k přeměně prvotního iniciačního impulsu (mechanického a tepelného) na druhotný impuls (detonační). Rozbušky máme nápichové (tj. iniciované nápichem) a šlehové (iniciované plamenem).
- **Rozněcovadla (iniciátory)** – jsou prostředky potřebné k rozněcování výbušnin, které přivádíme k funkci jednoduchým počátečním podnětem.
- **Roznětnice** – je přenosným zdrojem elektrické energie, která se používá pro roznět elektrických rozněcovadel.
- **Zápalnice** – je prostředek sloužící pro přenos plamene na určitou vzdálenost. Základ zápalnice tvoří duše z lisovaného černého prachu.
- **Zážeh** – je roznět vyvolávající výbuchové hoření. [2]

2.1 Prostředky trhací techniky

Veškeré výbušiny, pomůcky a prostředky trhací techniky podléhají schvalovací povinnosti příslušného báňského úřadu (ČBÚ a SBÚ).

K základním prostředkům trhací techniky řadíme:

- průmyslové trhaviny,
- rozněcovadla,
- pomůcky k použití výbušnin. [2]

2.1.1 Průmyslové trhaviny

Průmyslové trhaviny jsou směsí organických a anorganických látek výbušného i nevýbušného charakteru, jejichž úkolem je rozpojování horniny. Jsou poměrně málo citlivé k vyvolání výbušné přeměny, a proto k jejich iniciaci potřebujeme velmi silného počátečního impulsu, např. výbuch rozněcovadla.

Podle určení se trhaviny rozdělují na:

- povrchové,
- důlní: - skalní,
 - bezpečné: - protiprachové,
 - protiplynové I. kategorie,
 - protiplynové II. kategorie,
 - protiplynové III. kategorie,
- pro zvláštní použití.

Podle způsobu zcitlivění, tj. obsahu výbušných složek, můžeme průmyslové trhaviny rozdělit na klasické trhaviny s chemickou senzibilizací, tj. ty, které obsahují výbušné látky a na neklasické (moderní) trhaviny s fyzikální senzibilizací, tedy ty, které neobsahují výbušiny.

Trhaviny pro zvláštní použití jsou určeny především pro trhací práce pod tlakem, pod vodou, pro příložné nálože nebo při geofyzikálním průzkumu, pro těžbu ropy a plynu a také pro mnohé jiné speciální trhací práce.

Průmyslové trhaviny dělíme podle konzistence na:

- sypké (amonoledkové),
- poloplastické,
- plastické (želatinové),
- kapalné,
- pevné,
- emulzní,
- slurry. [2]

2.2 Rozněty náloží

Roznětem se rozumí uvedení trhavinových náloží v činnost. V České republice a ve Slovenské republice se podle použitých roznětných prostředků a podle platných bezpečnostních předpisů používají tři základní druhy roznětů:

- roznět zápalnicí,
- roznět bleskovicí,
- roznět elektrický.

V posledních letech se však rozvinul nový druh roznětu a to roznět elektronický. Roznět zápalnicí a bleskovicí lze použít jen v omezené míře, např. při povrchových trhacích pracích nebo v podzemním prostředí, ale bez výskytu výbušných plynů. Zatímco roznět elektrický lze použít na všech pracovištích, bez jakéhokoliv omezení. Roznět elektronický je nejnovějším druhem roznětu a jeho možnosti použití jsou teprve na začátku. [2]

2.2.1 Roznět bleskovicí

U roznětu bleskovicí je vlastní iniciace provedena zápalnicí s klasickou zážehovou rozbuškou, resp. elektrickou rozbuškou. Tento typ roznětu se používá při roznětu náloží hromadných povrchových odstřelů a lze jej použít i v podzemních prostorách, ale pouze za předpokladu použití bleskovice se zvýšenou bezpečností v podmínkách plynujících uhelných dolů.

Samotná roznětná síť se skládá z hlavní bleskovice, ze které vybočují jednotlivé bleskovicové větve k dílčím náložím. Bleskovicová roznětná síť nesmí mít žádné smyčky či zkruty, neměla by se nikde křížit, do spojů bleskovic se nesmí vkládat rozbuška a bleskovice by neměla být v roznětné síti nikde napnutá. Při použití více než jedné bleskovice je nutné, aby vzájemná vzdálenost mezi jednotlivými bleskovicemi byla minimálně 30 cm. Klasická bleskovice je složena z textilní hadice, která je chráněná plastovým pláštěm proti vlhkosti.

Mezi významnou výhodou bleskovicového roznětu patří zejména jeho elektrická nevodivost a docela dobrá funkční spolehlivost. Jediný vodivý prvek v bleskovicovém roznětu tvoří elektrická rozbuška, která připravuje k odpálení hlavní bleskovicí. Vlastní přípravu nálože pro její odpálení provádíme těsně před vlastním provedením odstřelu, a to proto, aby nevznikalo nebezpečí předčasného nežádoucího roznětu náloží cizím zdrojem elektrické energie. Libovolné zpoždění jednotlivých náloží dostaneme podle počtu do série zapojených zpožďovačů.

V současnosti je bleskovicový roznět používán převážně při povrchových hromadných odstřelech. Je vhodný v dolech a všude tam, kde se vyskytuje reálné riziko nebezpečí nežádoucího předčasného odstřelu způsobeného cizí elektrickou energií. Obecně se bleskovicové používají k přenosu detonace od rozbušky do trhaviny, v některých případech mohou samy sloužit jako trhavina. [2, 3]

Z nejnovějších druhů bleskovicového roznětu je nejzajímavější varianta **Nonel**, vyrobena firmou Dynamit Nobel, pocházející ze Švédska. Tato varianta roznětu používá časovaných rozbušek bez elektrických palníků. Zpožďovač je zažehnut mikrobleskovicí, kterou tvoří průsvitná plastová hadička o vnějším průměru 3 mm a tenký povlak třaskaviny. Vlastní roznět mikrobleskovic lze realizovat speciálními roznětkami. Třaskavina po iniciaci detonuje obrovskou rychlostí, a to asi 2000m/s, ale pouze uvnitř hadice, nikoliv mimo ní. Zápálná pilulka je zapálená detonací a přes zpožďovací vložku se k výbuchu přivede primární a sekundární náložka, poté i nálož.

Výhody systému Nonel

- bezpečný proti cizím vlivům elektrické energie,
- bezpečný proti předčasnému roznětu,
- tenká vrstva výbušné náplně mikrobleskovic shoří, ale nedetonuje,
- jednoduchá kontrola okruhu,
- necitlivost vůči vlhkosti a vodě,
- do systému lze zavést i zpožďovač.

Nevýhody systému Nonel

- je možná pouhá vizuální kontrola úplnosti roznětné sítě a je velmi drahý,
- nevhodný do prostředí s výskytem hořlavých plynů a prachů.

Roznětný bleskovicový systém je vyráběn ve dvou variantách:

1. NONEL MS (milisekundový) – se stupni 3 až 20, s intervalem 252 ms,
2. NONEL LP – se stupni 0 až 60, s intervalem 100, 200 a nebo 500 ms. [2, 3]

2.2.2 Roznět elektrický

Roznět elektrický je nejefektivnější způsob iniciace náloží trhavin při trhacích pracích v hornictví, stavebnictví, dopravě, geofyzikálním průzkumu, atd. Nyní je to nejpoužívanější způsob roznětu. Při trhacích pracích se tento roznět používá již od počátku 20. století. Výrobce elektrických rozbušek je firma Austin Detonator se sídlem ve Zlíně.

Elektrická roznětná síť je tvořena vzájemně propojenými elektrickými rozněcovadly (el. rozbuškami) s přívodními vodiči. Roznětné vedení (hlavní vedení – tzv. linka) je složeno z roznětné sítě a přívodního vedení, umožňující provedení vlastního roznětu. Celá soustava roznětné sítě s roznětným vedením se nazývá roznětný elektrický okruh. Roznětnice je zdrojem elektrického proudu. Základním prvkem elektrické roznětné sítě je elektrická pilule palníku. Průchodem elektrického proudu se odporový drátek palníku zahřívá a tím dochází k aktivaci pyrotechnické složky. Velikost elektrického proudu není jediným faktorem, který způsobuje výbuch pilule palníku. Velikost elektrického proudu a délka jeho procházení skrz můstek musí být taková, aby došlo k zahřátí na potřebnou zážehovou teplotu. Podstatou elektrického roznětu je výbuch pilule palníku.

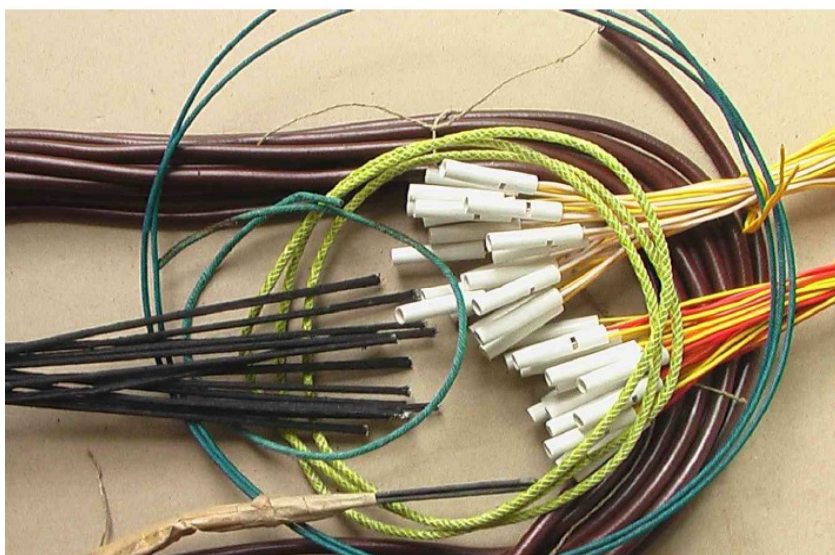
V roznětné síti, popř. v roznětném okruhu rozlišujeme 3 způsoby zapojování elektrických rozněcovadel, a to:

- sériové zapojení (zapojení za sebou),
- paralelní zapojení (zapojení vedle sebe),
- sérioparalelní zapojení (kombinace obou výše uvedených typů).

Zpravidla se však používá pouze sériového zapojení elektrických rozněcovadel.

Selhávky elektrického roznětu

Bezpečnost a efektivnost je snižována výskytem selhávek náloží. Hlavními příčinami selhání jsou nejčastěji vadné rozněcovadlo, vadná roznětnice či vadný ohmmetr, chyby v zapojení roznětné sítě, vadné přívodní vedení nebo nevhodné použití rozněcovadel nestejné citlivosti. Dále není věnována pozornost tomu, aby se nepoškodila izolace vodičů a mnohé jiné důvody. Přestože jsou elektrická rozněcovadla konstruována tak, aby byla uvedena do činnosti v požadované době proudem roznětnice, nikdy nelze zajistit, že by nastala možnost jejich aktivování cizí elektrickou energií. [1, 2, 3]



Obrázek 1: Elektrický palník, [6]

2.2.3 Roznět elektronický

Elektronické roznětné systémy jsou technologickým pokrokem pro zahájení výbuchů zejména v oblasti hornictví. Jejich použití, ačkoliv nejsou v současné době příliš rozšířené, se neustále zvětšuje, a to s rozvíjející se poptávkou pro bezpečnější a kvalitnější rozněty.

U elektronického roznětu se do rozbušky vkládá ještě před zápalnou pilulkou spínač, mikročip. Elektronický roznět využívá elektronických rozbušek, u kterých se elektrický proud s intenzitou pouze tisícin ampéru, po dobu několika sekund, akumuluje do kondenzátoru, který je v elektronické rozbušce zabudován proto, aby se jím potom zapálila zápalná pilulka ve chvíli, na kterou byla naprogramována. Detonace pak nastává téměř okamžitě. Elektronický roznět se od elektrického liší v elektrickém odporu. U elektrických rozbušek je odpor dán odporovým můstkem, který není nijak závislý na napětí proudu. Odpor elektronické rozbušky je, na rozdíl od elektrické rozbušky, vytvářen polovodičem a je celkově vyšší. K roznětu elektronickou rozbuškou se nepoužívají klasické roznětnice, ale zpravidla se používají nově vyvinuté roznětnice Dynatest, popř. roznětnice kondenzátorové.

Proces iniciace rozbušek u elektronického roznětu probíhá v několika fázích:

1. odjištění roznětného okruhu,
2. nabíjení kondenzátoru,
3. programování intervalu roznětu,
4. zprostředkování signálu,
5. průběh zpoždování rozbušky,
6. vyprazdňování kondenzátoru přes zápalnou pilulku,
7. samotný roznět. [3, 9, 10, 11, 12]

3. Popis elektronické rozbušky, její používání a odlišnosti

Než se dostaneme k jednotlivým typům rozbušek, tak si na úvod si povíme co to rozbuška vůbec je. Rozbuška (obr. 2) je rozněcovadlo, které vyvolává detonaci trhavinové nálože nebo bleskovice. Rozbuška započíná samostatný proces výbuchu, který vede k rozpojování materiálů. Je tvořena kovovou dutinkou, která obsahuje primární a sekundární náplň výbušniny. Primární náplň dutinky je tvořena velmi citlivou třaskavinou nebo také třaskavou složí, a to buď rtutí nebo směsí rtuti s azidem stříbrným. Sekundární náplň dutinky vytváří prostor mezi primární částí a samotným dnem dutinky. Sekundární náplň může být vysoce brizantní trhavina, např. pentrit, pentolit či hexogen. V ojedinělých případech se můžeme setkat také se sekundární náplní dutinky, která se skládá ze dvou složek. Dutinka rozbušky se vyrábí z hliníkového, měděného nebo ocelového plechu. Chceme-li použít rozbušku do prostředí s nebezpečím výbuchu metanu nebo uhelného prachu, tak smíme použít pouze rozbušku měděnou. K připevnění rozbušky na elektrický palník a nebo na zápalnici se používá zbývající volná část dutinky. [1, 2, 3, 14]



Obrázek 2: Schéma průmyslové rozbušky, [14]

3.1 Popis elektrické rozbušky

Pro lepší pochopení a vysvětlení jak funguje elektronická rozbuška si povíme pár základních informací o rozbušce elektrické. Elektrické rozbušky a elektrické palníky jsou v podstatě elektrická rozněcovadla.

Elektrické rozbušky (obr. 4) jsou jedny z nejrozšířenějších. Základ je tvořen odporovým můstkem (drátem), který se při průchodu proudem zahřeje a aktivuje detonaci iniciační složky, poté primární a sekundární složky. Soustava elektrické rozbušky představuje spojení elektrického palníku se zážehovou rozbuškou v jeden nerozbitelný a vodotěsný celek. Pyrotechnická zpožďovací složka a primární náplň třaskaviny je umístěná do ochranného kovového pouzdra tak, aby byla zajištěna vysoká odolnost rozbušky ke všem mechanickým podnětům. Kontrolu rozbušek provádíme Ohmmetrem. Iniciační rozbušky probíhá roznětníci.

Každá elektrická rozbuška musí být opatřena dvěma izolovanými vodiči o délce 3 m. Průměr elektrické rozbušky může být maximálně 7 mm. Tyto rozbušky jsou konstruovány a upravovány tak, aby v případě jejich používání byla vždy zaručena úroveň bezpečnosti, spolehlivosti a rovněž, aby byly zaručeny užité vlastnosti, které jsou nezbytné pro bezpečné a kvalitní provedení trhacích prací.

Elektrické rozbušky se podle časového zpoždění (tj. doby, která uplyne od chvíle, kdy je do rozbušky zaveden proud, až do doby, kdy nastane detonace rozbušky) člení do 2 základních skupin na mžikové a časované. Elektrická rozbuška je tedy určena k mžikovému nebo časovanému roznětu náloží trhavin, bleskovic, min a elektricky odpalovaných výbušných nástrah.

Mžiková rozbuška se skládá z těchto základních částí: z dutinky, trhavinové náplně, vodičů a také elektrické iniciace. U mžikových rozbušek dochází k výbuchu rozbušky téměř hned po zavedení roznětného proudu a tyto rozbušky mají nulový časový stupeň. Mžikové rozbušky, které jsou vyráběné u nás, mají izolaci přívodních vodičů červené barvy.

Časovaná elektrická rozbuška se skládá z dutinky, trhavinové náplně, vodičů, elektrické iniciace a pyrotechnického zpožďovače, který je zařazen mezi primární náplní rozbušky a mezi elektrickou pilulí. Časované rozbušky se dělí na milisekundové a déle časované. Je-li doba zpoždění mezi jednotlivými výbuchy rozbušek po sobě následujících stupňů kratší než 100 ms, pak tyto rozbušky patří do skupiny milisekundových rozbušek, a je-li doba zpoždění mezi jednotlivými výbuchy větší než 100 ms, pak tyto rozbušky patří do skupiny časovaných rozbušek.

Vhodným zkombinováním jednotlivých typů rozbušek a časových stupňů lze vytvořit časové řady, které se využívají při vytváření časových schémat např. při ražbě liniových podzemních děl o velkých profilech. Správným načasováním můžeme zvýšit využití energie výbuchu a zároveň omezit nežádoucí vedlejší účinky trhacích pracích. Můžeme také zajistit odhoz a pád rozpojeného materiálu v požadovaném směru. Časované rozbušky patří k nejvýznamnějším prostředkům trhací techniky a používají se běžně v ucelených sadách či řadách rozbušek. Kromě výše uvedených typů existují také elektrické rozbušky speciální, které se používají za zvláštních podmínek, např. vyskytuje-li se v hlubinném dole některý druh sirníku. Rovněž je můžeme použít v hutním provozu, při hlubinných vrtech a na místech, kde se zpravidla překračuje standardní teplota vzduchu. Všechny druhy elektrických rozněcovadel, jako jsou elektrické rozbušky a elektrické palníky, rozlišujeme podle jejich citlivosti k roznětnému proudu.

Elektrické rozbušky se podle časování označují DeM, DeR, DeD, DeP.

- DeM – časovaná rozbuška se stupněm zpoždění 23 ms.
- DeR – časovaná rozbuška se stupněm zpoždění 40 až 80 ms.
- DeD – časovaná čtvrtsekundová rozbuška se stupněm zpoždění 250 ms.
- DeP – časovaná půlsekundová rozbuška se stupněm zpoždění 500 ms.

Rozbušky obecně jsou osazeny můstkem palníků a podle jeho elektrických vlastností se můžeme setkat s rozbuškami s nízkou odolností NO, se střední odolností SO a nebo s vysokou odolností VO. Většina elektrických rozbušek vyráběných v bývalém národním podniku Zbrojovka Vsetín, nyní firma Austin Detonator, používá základní konstrukce rozbušek o průměru 7 mm a délce od 45 do 95 mm a to podle stupně zpoždění. Tyto rozbušky se ve většině případech dodávají s neodizolovanými konci přívodních vodičů, ale pak se odizolují těsně před roznětem a to pomocí jednoduchých kleští.

K základním prostředkům pro elektrický roznět a jeho kontrolu je nutné mít k dispozici roznětnice, ohmmetry, zkoušečky roznětnic, přístroje pro zjišťování a měření cizích zdrojů elektrické energie, roznětné vedení a pomůcky potřebné pro spojování.

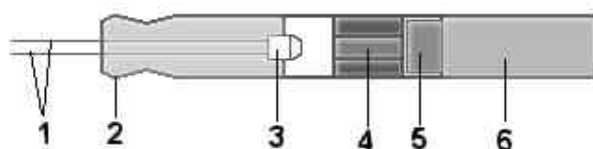
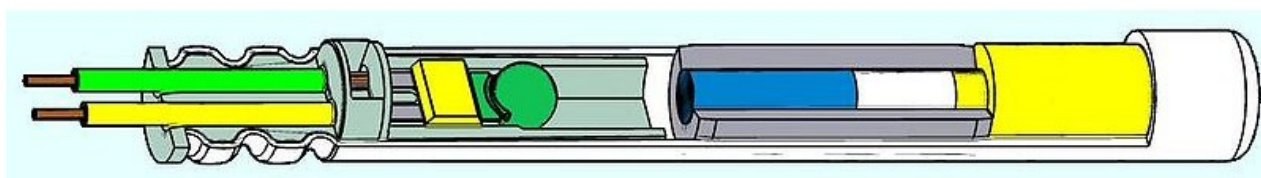
Elektrické rozbušky můžeme univerzálně použít pro všechny existující druhy roznětu i v případě, že panují ty nejnáročnější podmínky. Je nutností rozlišit jaký druh elektrické rozbušky použijeme pro daný typ trhacích prací. [1, 2, 3, 6, 9, 14, 15]

Obecně se udávají tyto základní hodnoty elektrických rozbušek:

1. odpor rozbušky by se měl pohybovat v rozsahu od 1,0 do 1,3 Ω ,
2. zážehový impuls by měl být okolo 18 mJ/ Ω ,
3. odolnost proti proudu by měla být 0,45 A a to po dobu minimálně 5 minut,
4. k roznětu se používá rozbuška č. 8.

3.1.1 Výhody elektrických rozbušek

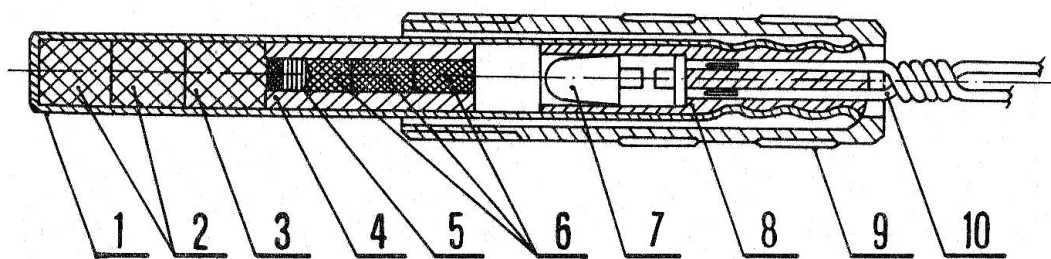
K nejdůležitějším výhodám patří ta, že do elektrické rozbušky se nemůže dostat voda, vlhkost či nečistota, a tím pádem je její riziko selhání téměř nulové. Časované rozbušky lze načasovat o mnoho přesněji než zápalnice. [1, 2, 3, 6]



- 1 přívodní vodiče
- 2 dutinka elektrické rozbušky
- 3 zápalná pilulka
- 4 zpožďovací slož
- 5 primární náplň rozbušky
- 6 sekundární náplň rozbušky

ELEKTRICKÁ MILLISEKUNDOVÁ ROZBUŠKA

Obrázek 3: Elektrická rozbuška a schéma zakreslení elektrické milisekundové rozbušky, [6]



Řez bezpečnostní časovanou elektrickou rozbuškou ŽeČ-B

1 – dutinka ; 2 – sekundární náplň ; 3 – primární náplň ; 4 – zpožďovač ; 5 – přenosná slož ; 6 – slož zpožďovače ; 7 – elektrická pilule ; 8 – těsnicí zátka ; 9 – rozbuškový šroub ; 10 – vodiče

Obrázek 4: Časovaná elektrická rozbuška, [14]



Obrázek 5: Jednotlivé typy elektrických rozbušek firmy Austin Detonator, [9]

3.2 Popis elektronické rozbušky

Největším výrobcem rozbušek u nás je firma Austin Detonator. Firma Austin Detonator, dříve Zbrojovka Vsetín, byla založena v roce 1948 ve Zlíně. Na přelomu roku 1948 - 1949 byl zahájen vývoj civilních rozbušek a poté i vojenských rozbušek. S postupem času byly zahájeny vývoje a výroby mnoha typů rozbušek. Významným pokrokem pro firmu byl vývoj nového typu rozbušky v roce 2008, kdy byla vyrobena první elektronická rozbuška typu E*Star.

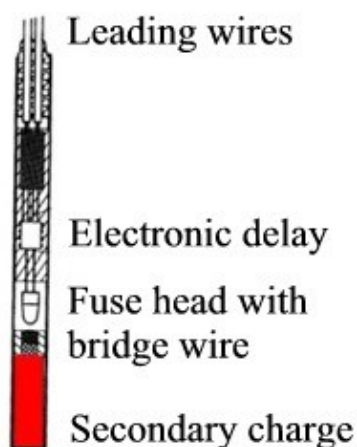
Na začátek můžeme říci, že elektronická rozbuška (obr. 6) je v podstatě elektrická rozbuška s elektronickým časováním, tzv. DEC Systémem – Digital Energy Control. Jádro elektronické rozbušky je tvořeno mikročipem s časovačem a kondenzátorem, které zaujímají prostor v pyrotechnické pojistce, které se používají také v rozbuškách elektrických. Umístění elektronického obvodu uvnitř elektronické rozbušky poskytuje překážku bludným proudům, které by mohly způsobovat iniciaci v klasické elektrické rozbušce. Mimoto, elektrické přepínače, které jsou zabudované do obvodu proto, aby zvyšovaly ochranu elektronických rozbušek od statických nábojů, eliminují potřebu pro vnější přepínače, které se používají také i u běžných elektrických rozbušek. Roznět galvanometru nemůže být použitý pro odporové zkoušky a zkoušky spolehlivosti, neboť zkoušky okruhu se mohou provádět pod nízkým napětím a součástky elektronické rozbušky mohou být poškozeny napětím běžně generovaným od roznětu galvanometru. Speciální okruh testovacího zařízení je určený k provádění zkoušek spolehlivosti a odporových zkoušek tehdy, jsou-li elektronické rozbušky používány v roznětném okruhu. Zkoušky spolehlivosti a zkoušky odporové nemůžeme provádět v každém vrtu a pro síť jako celku je nemůžeme provádět rychle a bezpečně.

Elektronickou rozbušku nelze srovnávat s klasickou elektrickou rozbuškou jako je např. rozbuška DeM – S. Samotné zpoždění elektronické rozbušky totiž není řízeno hořením pyrotechnické složky, ale elektronickým iniciačním modulem, tzv. EIM. EIM je elektronický iniciační modul, což je malý tištěný spoj, obsahující zejména mikročip a kondenzátor.

Elektronické rozbušky se výhradně zapojují paralelně s otevřeným okruhem přívodního vedení (tj. Baseline). Baseline je zařízení, které pracuje se stálým nízkým napětím. Tyto rozbušky jsou docela dobře odolné vůči cizím energiím, např. vůči elektrostatické energii a bludným proudům. Odolnost rozbušky vůči vnějším mechanickým vlivům můžeme srovnat s odolností elektrické nebo neelektrické rozbušky. [2, 4, 5, 9, 10, 15]

3.2.1 Princip fungování elektronické rozbušky

Elektronické rozbušky se skládají ze základních částí a těmi jsou EIM, el. pilule, přívodní vodiče s připojovacím konektorem, primární a sekundární náplň, dutinka a ucpávka. Elektronická rozbuška funguje tak, že elektrická pilule je klasicky iniciována průchodem elektrického proudu z kondenzátoru rozbušky a ten zažehne primární pyrotechnickou slož. Samotný zážeh a výbuch primární složky pak způsobí výbuch sekundární náplně rozbušky. Elektronický roznětný systém obsahuje rozbušky se zabudovaným elektronickým modulem a konektorem, digitální časovač Logger, propojovací vedení a samozřejmě roznětnici. Samotný elektronický modul se pak skládá z kondenzátoru, pilule, logického a časového obvodu. Kondenzátor je nabíjen roznětnicí a na daný pokyn je spuštěn průchod proudu odporovým můstkem, čímž se zažehne primární složka pilule a ta poté iniciuje sekundární náplň rozbušky. Materiál dutinky je ve většině případů z mědi. Jádro přívodních vodičů může být z mědi nebo ze železa. Odolnost elektronické rozbušky vůči vodnímu tlaku je 1 MPa / 28 dní.



Obrázek 6: Schéma elektronické rozbušky, [10]



Obrázek 7: Druhy časovacích zařízení Logger, [9]

Pokud se bavíme o elektronickém roznětném systému, tak bylo speciálně navrženo ojedinělé roznětné zařízení, které ke každému kabelu elektronické rozbušky vysílá volitelný digitální signál. Každá elektrická rozbuška identifikuje signál a proto je detonace roznětné sítě velmi přesně řízená. Vyráběná kontrolka (kontrolní jednotka) nebo jednoznačně specifický časovač se používají k zobrazování jakéhokoliv nekompletního obvodu a to již během připojování, avšak ještě před zahájením samotného výbušného okruhu. [2, 4, 5, 9, 10, 15]

3.3 Označení elektronických rozbušek

Označení dna dutinky je písmenem V. Označení rozbušky je na štítku, samolepce a dutince. Štítek je žluté barvy, s potiskem „název rozbušky/ délka vodiče/ označení o typové zkoušce“. Samolepka je bílé barvy, s potiskem „název rozbušky/ délka vodiče/ označení o typové zkoušce“. Dutinka je opatřena potiskem „Danger/ Explosive/ Detonator“, tj. „nebezpečí/ výbušnost/ typ rozbušky“. [2]

3.4 Druhy elektronických rozbušek

V současnosti jsou k dispozici dva druhy elektronických rozbušek, a to typ E*Star a I-konTM. Rozbušku E*Star vyrábí firma Austin Detonator s. r. o. se sídlem ve Zlíně a rozbušku I-konTM vyrábí firma Orica Germany GmbH sídlící v Německu. [2, 7]

3.4.1 Elektronická rozbuška E*Star

V rámci vyřešení problémů časování a testů na jednotlivých obvodech, technickým zhodnocením, byl vyroben elektronický detonační roznětný systém E*Star firmou Austin Detonator. Konstrukční hlediska E*Star systému byly posuzovány technickými informacemi a detaily poskytnutými firmou Austin Detonator.

Pro tuto elektronickou rozbušku je charakteristická maximální přesnost a možnost načasování roznětu pro trhací práce, které se mohou použít v lomech i dolech, při výstavbě tunelů a také ve stavebnictví. Rozbušku lze naprogramovat na libovolný čas zpoždění pomocí programovacího zařízení Loggeru (obr. 7). Čas zpoždění se může pohybovat v rozsahu od 1 ms do 15 000 ms. Pro práce s rozbuškami typu E*Star se používají Loggery DLG 1600–1–N (Dash 1) a DLG 1600–100 (Dash 100), dále pak tester LM–1, roznětnice typu DBM 1600–2–K a digitální časovač Dan-Mar a roznětný přístroj DBM 1600–2–KN. Čas zpoždění rozbušky lze nastavit individuálně pro každou rozbušku nebo pro potřebu také pro skupinu rozbušek.

Zařízením Dash 1 můžeme programovat rozbušky a také měřit proud v každé rozbušce zvlášť. Zařízením Dash 100 můžeme rovněž programovat rozbušky, ale také kontrolovat únik proudu až do 100 kusů elektronických rozbušek připojených k základní lince a samozřejmě kontrolovat, že všechny rozbušky připojené k základní lince ve všech vrtech jsou nabitě a prochází jimi. Programovací zařízení rozbušky E*Star obsahuje přiřazovací detonační číslo a určenou dobu zpoždění. Tyto elektronické rozbušky může obsluhovat pouze osoba k tomu speciálně proškolená.

Elektronický roznětný systém E*Star se skládá z rozbušky, která má zabudovaný elektronický modul, dále pak z konektoru, časovacího zařízení Loggeru, roznětnice a propojovacího zařízení. Samotný modul se skládá z kondenzátoru, logického obvodu, časového zařízení, pilule a pyrotechnického systému zapalování, který je vyráběn ze speciálního zařízení. Toto elektronické zapalování modulu je spojené s technologií rozbušek firmy Austin Detonator, která poskytuje a vytváří kompletní celek. Kondenzátor je nabíjen roznětnicí DBM 10-S a tím dochází k průchodu proudu odporovým můstkem, který následně zažehne primární slož pilule a ta poté iniciuje sekundární náplň rozbušky.

Způsoby časování elektronické rozbušky E*Star jsou poskytovány rozdílným návrhem a konstrukčními vlastnostmi v porovnání s klasickou elektrickou rozbuškou. Vnitřní časování ochrannými prostředky obsaženými v elektronické rozbušce E*Star nahrazuje potřebu časování prostřednictvím mechanických prostředků. Připojení elektronických rozbušek E*Star do roznětných obvodů je dosaženo použitím připojovacích bloků.

Složení elektronické rozbušky E*Star a její vlastnosti:

- materiál dutinky je měď,
- materiál přívodních vodičů: měď nebo železo,
- označení na dně dutinky: V,
- primární výbušná náplň: azid olovnatý,
- sekundární výbušná náplň: pentrit,
- teplotní rozsah pro použití: od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.



DBM 10-S Digital Blasting Machine

Obrázek 8: Odpalovací zařízení DBM 10-S, [9]

Výhodami elektronických rozbušek E*Star jsou:

1. minimální krok zpoždění 1 ms v rozsahu od 1 do 15 000 ms,
2. přesnost načasování rozbušky na 0,01 % nominálního času,
3. možnost 100 % kontroly spolehlivosti roznětné sítě a mnohonásobná kontrola rozbušky před samotným odpalem,
4. díky obsaženému kódu v každé rozbušce jejich nezaměnitelnost,
5. možnosti zapojení a iniciace až 1600 kusů rozbušek na 1 roznětnici,
6. trhavinu iniciované rozbuškou č.8,
7. možnost ochrany před zneužitím,
8. pokrok v předpožární diagnostice, která je spojená s komunikačním protokolem.

Nevýhodami elektronických rozbušek E*Star jsou:

1. nelze je použít v rizikových podmínkách či prostředích,
2. u rozbušky E*Star je přívodní dvoulinka navržena jako odolnější při použití v lomech,
3. tyto rozbušky vyšších časových stupňů jsou při odstřelu vytaženy za vodiče z vývrtů, v případě, že použijeme emulzní trhavinu a nabíjení z vozů,
4. celkový čas zpoždění 10 000 (resp. 15 000 ms) se v určitých případech projevil jako nedostatečný.



Obrázek 9: Elektronická rozbuška E*Star firmy Austin Detonator, [7]

Elektronické rozbušky E*Star proto byly navrženy tak, aby poskytovaly velmi přesnou kontrolu, která je potřebná k vytvoření co nejpřesnějšího a nejdůslednějšího seizmického záznamu. Unikátní sériové číslo každé elektronické rozbušky E*Star poskytuje důležité zázemí sledovatelnosti. Tyto rozbušky jsou průmyslově nejpříjemnější a nejsilnější elektronické seizmické rozbušky. Byly navrženy tak, aby byly schopné roznětu až deseti rozbušek současně. Je povoleno používat jen takové zařízení, které bylo jednoznačně určeno pro použití těchto elektronických rozbušek typu E*Star. [2, 4, 5, 7, 9, 11, 14]

3.4.2 Elektronická rozbuška I-kon TM

Elektronická rozbuška typu I-kon TM je plně programovatelná rozbuška. I-kon systém je nyní nejmodernější elektronický systém na trhu, který byl navržený k použití pro velké a komplexní výbuchy při povrchových a podzemních trhacích pracích. Tato elektronická rozbuška se skládá z programovatelných digitálních rozbušek a kontrolních zařízení I-kon, jako je časovací zařízení Logger a zařízení k provádění výbuchu.

Výhodami elektronické rozbušky I-kon jsou:

1. vysoká přesnost (je až 1000x přesnější než pyrotechnika),
2. široký rozsah zpoždění (od 1 ms až do 15 000 ms),
3. široká kapacita dostupnosti poskytující nevídanou flexibilitu načasování.

I-kon rozbuška nabízí dálkové trhací schopnosti CEBS (Central Blasting System – centrální roznětný systém) pro podzemní využití a SURBS (Surface Remote Blasting System – povrchový dálkový roznětný systém) pro:

1. aplikace integrovaného SHOTPlus-i a SHOTPlus UG softwaru pro návrh roznětu a automatické programování rozbušek,
2. plnou programovatelnost, která umožňuje snížit zásoby a zjednodušit tak soulady s danými předpisy,
3. možnosti zašifrovat cestu pro zvýšení bezpečnosti,
4. bezpečnou a obousměrnou cestu podle předepsaného vzoru,
5. prvotřídní drátové možnosti pro vysoké nároky při použití.

CEBS (Central Blasting System – centrální roznětný systém) umožňuje zahájit podzemní důlní činnosti jejich dálkovým výbuchem pomocí elektronické rozbušky, a to z pohodlného a bezpečného kontrolního bodu umístěného obvykle na povrchu. Jednotka CEBS se skládá z RBB (Remote Blast Box – krabičky k dálkovému výbuchu) a z Lock Box (uzavíratelné krabičky), které pracují se současným Loggerem (časovačem) a využívají stávající komunikační infrastruktury jako jsou Analogue phone network – analogové telefonní sítě, LAN, WLAN nebo Leaky Feeder - podavač, a ty umožňují na dole bezpečně zahájit výbuchy buď z navrženého bezpečného místa pod povrchem a nebo pokud možno nejlépe z koordinovaného a kontrolního bodu, který je umístěn na povrchu.

K základním vlastnostem CEBS jednotky patří:

1. ovládání systému pomocí počítače, kdy je ovládací systém založen na centrálním roznětném softwarovém balíku,
2. vzhledem ke složitosti podzemních vůlí je bezpečnost zvýšená díky možnosti kombinovat inteligentní klíč, univerzální klíč a fyzické klíčové kontroly,
3. kapacita CEBS jednotky je až do 2400 kusů elektronických rozbušek typu I-kon, ovládaných 12 časovači,
4. kompletní dvou-pásmová komunikace, včetně možnosti ověření programování doby zpoždění a potvrzení plné funkčnosti všech rozbušek,
5. systém je zahrnut v silných, vodou a šokem odolných případech, pro rozsah provozních teplot od – 20 °C až do + 60 °C.

CEBS systém obsahuje několik úrovní bezpečnosti:

1. RBB (Remote Blast Box – krabička k dálkovému výbuchu) umožňující psát unikátní jednorázový digitální kód pro Smart Dongle (inteligentní klíč),
2. inteligentní klíč musí být přepraven k bezpečnému bodu roznětu a musí být vložen do skříňky pro aktivaci spoje s RBB (Remote Blast Box),
3. k uzavíratelné krabičce se musí přistupovat s jeho fyzickým klíčem,
4. veškeré komunikace mezi povrchem a podzemím jsou šifrovány pomocí jednorázového digitálního kódu a konkrétních adres z RBB, které jsou poskytovány pomocí inteligentního klíče,
5. uzavíratelná krabička je kontrolována z počítače s použitím centrálního roznětného systému firmy Orica, který je chráněn heslem,

6. předtím než bude moci být zahájen výbuch dané sekvence, musí být univerzální klíč, obsahující unikátní roznětné příkazy, vložen do uzavíratelné skříňky,
7. roznět lze zahájit s použitím počítače,
8. snímač vibrací v RBB potvrzuje úspěšnost provedeného roznětu.

Po provedení roznětu, systémový software automaticky vygeneruje zprávy, které ukazují konkrétní specifické detaily roznětu, zahrnující časy roznětu, časování, detaily provedeného roznětu a rekordní hodnoty vibrací potvrzující samotnou detonaci. [8, 9, 10]



Obrázek 10: Elektronická rozbuška I-kon firmy Orica, [8]

3.5 Výhody elektronických rozbušek

Pro elektronickou rozbušku je charakteristická maximální přesnost a různorodost při časování roznětu pro trhačí práce v lomech, dolech, při výstavbě tunelů a ve stavebnictví.

Mají i mnohé další výhody jako jsou:

- 100% kontrola spolehlivosti roznětné sítě,
- možnost zapojení a spolehlivé iniciace až 1600 kusů rozbušek na jednu roznětnici,
- vícenásobná kontrola samotné rozbušky před odpálením,
- nelze zaměnit díky unikátnímu kódu v každé rozbušce,
- přesnost časování na 0,01% nominálního času,
- nejmenší krok zpoždění 1ms,
- široké spektrum rozsahu od 1 do 15 000 ms,
- ochrana před zneužitím,
- dodržení projektovaných denních postupů podle předem stanovených harmonogramů výstavby,
- rozbušky lze snadno přeprogramovat v případě, že dojde k chybě při nabíjení,
- používání elektronických rozbušek snižuje seizmické zatížení objektů v nadloží a snižuje vibrace, snížená citlivost vůči bludným elektrickým proudům,
- obsahují zařízení snižující rádiové frekvence a snižující možnost selhání díky přesnějšímu testovacímu obvodu. [2, 4, 5]

3.6 Nevýhody elektronických rozbušek

U těchto typů rozbušek převládají výhody jejich použití, ale i přesto se najdou důvody, pro které není vhodné elektronické rozbušky použít.

K těmto nevýhodám patří:

- pro nastavení a odstřel je možné použít pouze zařízení výrobce (tj. Logger a Blaster),
- elektronický systém pracuje neustále pod napětím,
- zážeh rozbušky jen z roznětnice,
- celkový čas zpoždění 10 000 ms je v některých případech použití nedostatečný. [2, 4, 5]

3.7 Odlišnosti a rozdíly mezi elektrickou a elektronickou rozbuškou

Oba druhy rozbušek se liší nejenom funkcí a konstrukcí, ale i zapojením v roznětném okruhu. Je zřejmé, že elektronická rozbuška je mnohem složitější konstrukce v porovnání s rozbuškou elektrickou. Rozdílné zapojení je základním a rozpoznávacím rozdílem mezi těmito dvěma druhy rozbušek. Elektronická rozbuška se zapojuje pouze paralelně s otevřeným okruhem přívodního vedení a zpoždění elektronické rozbušky se děje elektronickým iniciačním modulem, ne hořením pyrotechnických složek. Elektrické rozbušky se nezapojují jen paralelně.

Elektronický systém je v porovnání s elektrickým systémem mnohem bezpečnější. Oba systémy sice pracují neustále pod napětím, ale u elektronického systému nelze zážeh rozbušek provést jinak než datovým povelům z roznětnice. Elektronický systém má zdroj elektrického proudu dodáván buď ze sítě nebo z baterií. V případě, že bychom chtěli provést pokus o odpal, tak dojde ke znehodnocení, ale bez detonace. [2, 4, 5, 9, 10]

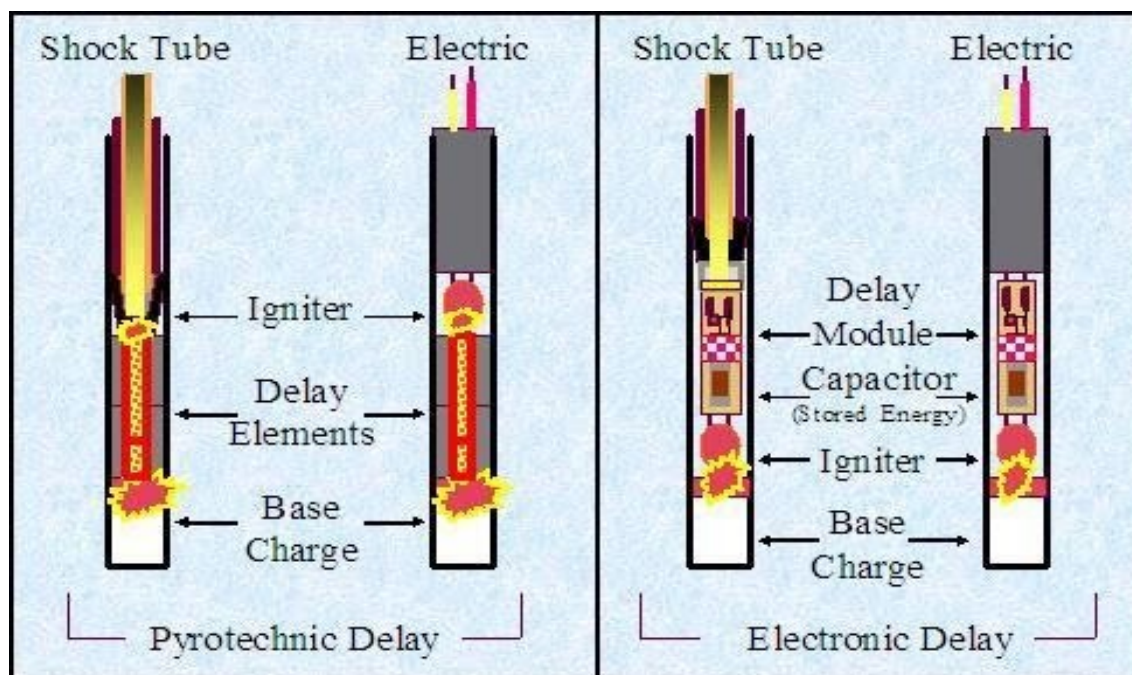
3.7.1 Základní konstrukční rozdíly

Konstrukčních rozdílů mezi elektronickou a elektrickou rozbuškou není příliš mnoho, ale ty co jsou, jsou přesto velmi zřetelné.

Hlavními rozdíly jsou:

1. základní rozdíl v elektronickém systému zpoždění a pyrotechnickém systému zpoždění je v místě umístění zapalovače (pojistky hlavy),
2. v elektronické rozbušce je zapalovač (pojistka hlavy) umístěn pod zpožďovacím (časovacím) zařízením,
3. v pyrotechnickém systému, složeného z detonační trubičky a elektronické rozbušky, je zapalovač (pojistka hlavy) umístěna před zpožďovacími prvky.

Na následujícím obrázku jsou jednotlivé konstrukční rozdíly schematicky znázorněny.



Obrázek 11: Pyrotechnické a elektronické zpožďovače, [12]

Popis obrázku:

Elektronická rozbuška - obsahuje tzv. EIM (elektronický iniciační modul - malý tištěný spoj, obsahující zejména mikročip a kondenzátor) a časovač. Charakteristická je její maximální přesnost a variabilita časování roznětu pro trhací práce v lomech, dolech, výstavbě tunelů a ve stavebnictví a minimálně 2x větší záběr.

Elektrická rozbuška - základem je odporový můstek (drát), který se při průchodu proudem zahřeje a vyvolá detonaci iniciační složky, následuje detonace primární a sekundární složky. Kontrola zapojení se provádí ohmmetrem a iniciace probíhá roznětníci. [6, 9, 10, 15]

3.8 Používání elektronických rozbušek

Použití zejména při trhacích pracích v podzemním stavitelství a to v dolech, při ražení tunelů, šachet, ale rovněž i na povrchu v lomech a také v různých odvětvích stavitelství. Elektronické rozbušky je možno používat v teplotním intervalu od -30 °C až do +60 °C. Ideálními podmínkami pro skladování je teplotní rozsah od -30 °C do +40 °C. Nelze je používat v rizikových podmínkách a prostředích. Používání elektronických rozbušek na krátké vývrty okolo 1 metru je nevýhodné.

Z hlediska ekonomického se elektronické rozbušky vyplácí používat pouze tam, kde je potřeba vysokého počtu rozbušek, a tam, kde je potřeba výrazného omezení seizmického působení výbuchu náloží na okolní prostředí. Lze je také využít v místech, kde je potřeba dosáhnout vyšších výkonů při stanovených omezujících podmínkách trhacích prací. Elektronické rozbušky lze použít i na místech, kde geologie prostředí umožňuje dlouhé záběry, a to od 1,75 metru a výše. [2, 4, 5, 9]

3.9 Zkušenosti při použití elektronických rozbušek

Elektronických rozbušek bylo v České republice použito při výstavbě silničních tunelů městského okruhu v Praze pro ražené tunely Blanka a při trhacích pracích při povrchovém dobývání v kamenolomu Luleč. Zkušenosti s použitím elektronických rozbušek jsou rovněž ve vztahu s omezováním seizmických účinků zatížení na stavební objekty v nadloží v relativně malých hloubkách pod souvislou zástavbou. [4, 5]

3.10 Důvody zavedení elektronických rozbušek

Elektronické rozbušky se zavedly zejména kvůli souvislé zástavbě starších a památkově chráněných staveb se sníženou seizmickou odolností (tj. cca 15 mm/1 sekunda), v místech, kde bylo potřeba postavit nové podzemní dílo. Z bezpečnostních důvodů by vzdálenost základů ohrožených objektů od samotného místa odstřelu měla být od 8 do 60 metrů, vždy podle individuálních potřeb provedení trhacích prací. Dalším důvodem pro zavedení elektronických rozbušek byla omezená doba pro provádění trhacích prací, nyní se trhací práce mohou provádět od 7.00 hodin až do 22.00 hodin.

Při použití elektronických rozbušek lze dodržet harmonogram výstavby podle předem stanovených projektovaných denních postupů. Zapojování a programování elektronických rozbušek je přibližně stejně rychlé a snadné jako u neelektrických rozbušek, např. typu IndetShock TS. Z technického hlediska a vývoje byly elektronické rozbušky navrženy ke snížení nebo k úplnému odstranění pyrotechnické pojistky, která je součástí elektronických rozbušek, čímž se zlepšuje přesnost načasování a bezpečnost. Typicky integrovaný obvod a vnitřní systém kondenzátoru, každé elektronické rozbušky, fyzicky odděluje úseky drátů od základní části a v závislosti na navržených funkcích může výrazně zvýšit bezpečnost a přesnost načasování.

Při programování elektronických rozbušek stačí, aby byli k dispozici na čelbě pouze 2 pomocníci a 1 střelmistr, zatímco při použití elektrických rozbušek musí být k dispozici mnohem více lidí. Použitím elektronických rozbušek se snižuje počet potřebných osob k provedení roznětu a tím pádem je mnohem menší riziko pro vznik případných úrazů.

Z hlediska ekonomického se při použití elektronických rozbušek prodlužuje záběr, snižuje počet přípravných operací, u dvojnásobného postupu vrtáme, větráme a odtěžujeme rozpojenou horninu pouze jednou. Všechny tyto ekonomické výhody představují zkrácení doby ražby a úspory na nákladech při použití strojních sestav. Elektronické rozbušky v porovnání s elektrickými nebo neelektrickými rozbuškami umožňují v určitých podmínkách 2 až 2,5 násobek větší záběr, a tím snížení počtu přípravných operací.

Při použití elektronických rozbušek se nejčastěji používá strojního nabíjení vývrtů, neboť dochází k urychlení vlastní operace nabíjení a to skoro až o polovinu potřebného času. Bezpečnost při manipulaci s výbušninami je mnohonásobně větší a snižuje se riziko odcizení či zneužití trhavin.

Elektronické rozbušky byly vyvinuty a uvedeny do praxe za účelem dosažení maximální přesnosti a variability časování roznětu při trhacích prací v oblasti podzemního stavitelství, povrchového dobývání či v oblasti stavebnictví. [4, 5, 9, 11]

3.11 Přínosy při používání elektronických rozbušek

Používání elektronických rozbušek přineslo nejen praktické, ale i technické a ekonomické přínosy. Lze je používat pro podzemní stavitelství a při trhacích pracích na povrchu, např. v kamenolomech nebo na povrchových lomech.

Praktické přínosy byly zjištěny přímo na staveništi, kde byly elektronické rozbušky použity. Programování rozbušek je střelmistrem lehce zvládnutelné již po jednoduchém zaškolení a střelmistrovi při programování postačují jen 2 pomocníci. Elektronické rozbušky můžeme bezpečně využívat ve spojení s mísicím strojním nabíjecím zařízením a i s ručním systémem nabíjení. V případě, že se vyskytne jakákoli chyba v programování nebo vyskytne-li se chyba při nabíjení v nabíjecím schématu, pak lze jednoduše elektronickou rozbušku přeprogramovat. U těchto typů rozbušek se rovněž neklade důraz na umístění konkrétní rozbušky do předem určeného vývrtu. Zapojování a programování rozbušek je natolik rychlé, že je můžeme porovnávat s neelektrickými rozbuškami typu IndetShock TS.

Z ekonomického hlediska se postup prací při ražbě zjednodušil a zkrátil, protože při dvojnásobném postupu je potřeba jen jednoho vrtání, jednou větrat a jednou odtěžovat. Použitím elektronických rozbušek se zkracuje doba ražby, jsou menší náklady potřebné pro ražbu, dále pak lze provést větší záběr a celkově je jejich využívání o mnoho bezpečnější než např. při použití rozbušek elektrických. [4, 5, 9]

4. Návrh roznětu pro ražené podzemní dílo

Roznět jako takový se velmi často používá pro ražbu silničních a železničních tunelů, ale i pro mnohá jiná podzemní díla. Dnes jsou silniční tunely jedny z nejrozšířenějších podzemních staveb, u kterých se používá roznět. Éra výstavby silničních tunelů však začala až na konci 50. let a to s rozvojem automobilismu.

Pro návrh roznětu pro ražené podzemní dílo si navrhnu roznětnici kondenzátorovou. Roznětnice je přenosným zdrojem roznětného proudu, určeného k roznětu elektrických rozněcovadel. Roznětný proud musí mít takovou velikost, aby byl zajištěn spolehlivý roznět všech současně zapojených a odpalovaných elektrických rozněcovadel. Kondenzátorové roznětnice jsou typickými představiteli roznětnic s proměnnou velikostí roznětného proudu. Zdrojem roznětného proudu je tedy kondenzátor, který je nabitý na jmenovité napětí roznětnice. Dosáhneme-li jmenovitého napětí roznětnice, pak se signalizační doutnavky rozsvítí signalizovaným přerušovaným svícením. Kondenzátorové roznětnice jsou rozměrově menší, konstrukčně jednodušší, hmotnostně lehčí a provozně spolehlivější než ostatní konstrukční typy roznětnic, jako např. dynamoelektrické, síťové či magnetoelektrické. Největší uplatnění mají roznětnice RKA – 1, RKC – 1 a KRAB – 1200, kterou lze použít ve výbušném prostředí.

Při výpočtu roznětné sítě není rozhodujícím prvkem proud, ale energie, která je dodána při vybíjení kondenzátorů do roznětné sítě během zážehové doby. Vždy se musí kontrolovat elektrický odpor roznětného vedení pomocí ohmmetru. U každého typu roznětnic je pro sériové zapojení vyznačen mezní odpor, který se nesmí překročit, aby bylo zajištěno spolehlivého současného roznětu. Elektronický iniciační systém je tvořen počínovou náloží a odpalovacím okruhem.

Při počínání náloží elektronickým iniciačním systémem by se mělo dodržovat základních ustanovení a zásad:

1. elektronický iniciační systém by se neměl kombinovat s iniciačním systémem elektrickým,
2. odpalovací okruh, který je tvořený z odpalovacího přívodního vedení, elektronických rozbušek, přívodních vodičů rozbušek a spojovacích vodičů, dále programovací jednotky a testovací jednotky, by měl být proveden s podobnými zásadami jako se používají pro iniciační systém elektrický,
3. je nutné zabránit použití roznětnice pro dodání elektrické energie do okruhu, kde jsou elektrické rozbušky,
4. je potřeba zajistit, aby se elektronický iniciační systém nepoužíval ve výbušném prostředí a aby testovací a programovací jednotky, jsou-li zapnuté, nebyly v žádném případě připojovány k okruhu či rozbuškám. [1, 2, 3]

Návrh roznětu provedu pro kalotu většího silničního tunelu a pro srovnání také pro typizovaný profil díla 00-0-9.

4.1 Profil díla 00-0-9

Prvním příkladem výpočtu bude typizovaný profil díla 00-0-9 ražený v hornině s koeficientem Protodjakonova $f = 6$.

Postup výpočtů:

1. z tabulek si zjistíme velikost hrubého profilu díla a to podle zadaného profilu díla – profilu 00-0-9 odpovídá $F_{hr} = 4,5m^2$,

2. stanovíme si celkový počet vývrtů na čelbě, tj. počet náloží - počet náloží vypočteme

pomocí teorie Protodjakonova I.:
$$Nc = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr}$$

$$Nc = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{6}{14,5}} \cdot 14,5$$

$$Nc = 15,18 = \underline{\underline{15 \text{ vývrtů}}}$$

$F_{hr} \dots \text{hrubý profil díla} \dots \text{mm}^2$

$f \dots \text{koeficient Protodjakonova} \dots$

$N_c \dots \text{celkový počet vývrtů} \dots \text{s}$

3. provedeme výpočet elektrického roznětného okruhu:

- odpor hlavního vedení: $R_{HV} = \rho \cdot 2 \cdot l$

$\varnothing = 1,2 \text{ mm} \dots \text{průměr vodiče} \text{ mm}$

$\rho = \rho = 0,015 \Omega \cdot \text{m}$

$l = L = 20 \text{ m}$

$$R_{HV} = \rho \cdot 2 \cdot l = 0,015 \cdot 2 \cdot 120 = \underline{\underline{3,6 \Omega}}$$

$R_{HV} \dots \text{odpor hlavního vedení} \dots \Omega$

$L = \dots \text{délka vedení} \dots \text{m}$

$\rho = \rho \dots \text{měrný odpor} \dots \Omega \cdot \text{m}$

- **volba rozbušky a roznětnice** – zvolíme se elektronickou rozbušku, která se zapojuje výhradně paralelně s otevřeným okruhem přívodního vedení a spočteme si odpor jedné rozbušky a poté odpor všech rozbušek, a zvolíme si roznětnici,

- pro výpočet použijeme rozbušku typu SICCA $\rightarrow 0,5 \text{ mm Cu} \dots \text{průměr přívodních vodičů, materiál měď}$

Rozbuška SICCA – rozbuška se zvýšenou střední odolností proti účinkům cizích zdrojů elektrické energie, s parametry:

1. bezpečný proud... $I = A$

2. roznětný proud... $I = 1A/4ms$

3. aktivací impuls $L_{akt} = 50 \text{ mJ}/\Omega$

$$R_m = 0,2 \Omega$$

$R_m \dots \text{odpor pilule můstku} \dots \Omega$

$$\rho = 0,0925 \Omega \cdot \text{m}$$

$L = 1 \text{ m} \dots \text{délka vodiče podle umístění roznětné nálože ve vývrtu} \dots \text{m}$

- vypočteme si odpor jedné rozbušky: $R_1 = R_m + R_{př.v.} = R_m + \rho \cdot 2 \cdot l_{př.v.}$

$$R_1 = 1,2 + 1,0925 \cdot 2 \cdot 2$$

$$R_1 = \underline{\underline{0,57\Omega}}$$

- poté vypočteme celkový odpor sítě pro 25 kusů rozbušek: $R_c = V \cdot R_1 + R_{HV}$

$$R_c = 15 \cdot 0,57 + 1,6$$

$$R_c = \underline{\underline{17,85\Omega}}$$

R_1 ...odpor jednoho rozněcovadla..... Ω

N ...celkový počet rozněcovadel..... Ω

$R_{př.v.}$...odpor přívodních vodičů rozněcovadla..... Ω

- zapojení rozbušek na místě odstřelu (roznětná síť) – odpor sítě při paralelním zapojení:

$$R_c = R_{HV} + \frac{R_1}{N} = 3,6 + \frac{0,57}{25} = 3,6 + 0,0228 = \underline{\underline{3,6228\Omega}}$$

R_c ...celkový odpor roznětného vedení..... Ω

- volba roznětnice – zvolíme si roznětnici kondenzátorovou typu KRAB - 1200 s parametry:

$$U = 200V \quad U \dots \text{napětí kondenzátorové roznětnice} \dots \text{V}$$

$$C = 6 \cdot 10^{-6} F \quad C \dots \text{kapacita kondenzátorové roznětnice} \dots F$$

- po provedení výpočtu odporů všech rozbušek musíme provést posudek jistoty roznětu:

$$L_{akt.} = 50mJ / \Omega$$

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (R_{HV}^2 + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right) \dots V / \Omega$$

$$\tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right) \dots s$$

$t_z = 0,004s$ zážehový čas rozbušky..... [s]

L_z ...zážehový impuls [V/Ω]

n ...počet paralelních větví

τ ...časová vybíjecí konstanta kondenzátoru..... [s]

L_{akt} ...aktivační impuls použitých rozněcovadel [V/Ω]

- jistota roznětu se posuzuje podle podmínky spolehlivosti roznětu: $L_z \geq L_{akt}$

- elektronické rozbušky se sice mohou zapojovat pouze paralelně, ale roznětnice kondenzátorová se může zapojit pouze do série, proto jsem zapojení spočetla jen do série (tj. pro počet větví $n = 1$):

$$n=1: \tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right)$$

$$\tau = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot \left(3,6 + \frac{17,85}{1^2} \right)$$

$$\tau = \underline{\underline{0,0002856s}}$$

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot \left(R_{HV}^2 + R_p \right)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right) = \frac{1200^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot \left(3,6^2 + 17,85 \right)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,0002856}} \right)$$

$$L_z = \underline{\underline{645,378mJ/\Omega}}$$

4. závěr

- 25 kusů elektronických rozbušek lze zapojit do série (tj. s počtem větví $n = 1$),
- zapojit rozbušky paralelně, aby byla stále zajištěna podmínka spolehlivosti roznětu, lze s počtem větví $n = 2$ až $n = 7$,
- při počtu větví $n = 8$ a výše, při paralelním zapojení, nebude možno rozbušky zapojit, neboť návrh roznětu by nevyhověl podmínce spolehlivosti roznětu.

4.2 Kalota silničního tunelu

Druhým příkladem výpočtu bude kalota silničního tunelu o přibližné velikosti hrubého profilu $F_{hr} = 15,94m^2$ a s koeficientem Protodjakonova $f = 6$.

Postup výpočtů:

1. stanovíme si celkový počet vývrtů na čelbě, tj. počet náloží - počet náloží vypočteme

pomocí teorie Protodjakonova I.:
$$N_c = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr}$$

$$N_c = 2,7 \cdot \sqrt{\frac{6}{15,94}} \cdot 15,94$$

$$N_c = 14,827 = \underline{\underline{15 \text{ vývrtů}}}$$

$$F_{hr} \dots \text{hrubý profil díla} \dots \text{m}^2$$

$$f \dots \text{koeficient Protodjakonova} \dots -$$

$$N_c \dots \text{celkový počet vývrtů} \dots \text{ks}$$

2. provedeme výpočet elektrického roznětného okruhu

- vypočteme odpor hlavního vedení: $R_{HV} = \rho \cdot \frac{2 \cdot l}{\pi \cdot d}$

$$\varnothing = 1,2 \text{ mm} \dots \text{průměr vodiče} \dots \text{mm}$$

$$\rho = \rho_{20} = 0,015 \Omega \cdot \text{m}$$

$$l = L = 20 \text{ m}$$

$$R_{HV} = \rho \cdot \frac{2 \cdot l}{\pi \cdot d} = 0,015 \cdot \frac{2 \cdot 20}{\pi \cdot 0,0012} = \underline{\underline{3,6 \Omega}}$$

$$R_{HV} \dots \text{odpor hlavního vedení} \dots \Omega$$

$$L = \dots \text{délka vedení} \dots \text{m}$$

$$\rho = \rho_{20} \dots \text{měrný odpor} \dots \Omega \cdot \text{m}$$

- **volba rozbušky a roznětnice** – zvolíme si elektronickou rozbušku, která se zapojuje výhradně paralelně s otevřeným okruhem přívodního vedení a spočteme si odpor jedné rozbušky a poté odpor všech rozbušek, a zvolíme si roznětnici

- pro výpočet použijeme rozbušku typu SICCA $\rightarrow 0,5 \text{ mm Cu} \dots \dots \text{průměr přívodních vodičů, materiál měď}$

Rozbuška SICCA – rozbuška se zvýšenou střední odolností proti účinkům cizích zdrojů elektrické energie, s parametry:

1. bezpečný proud... $I = A$

2. roznětný proud... $I = 1A/4ms$

3. aktivační impuls $L_{akt} = 50 \text{ mJ}/\Omega$

$$R_m = 0,2\Omega$$

$R_m \dots \text{odpor pilule můstku} \dots \dots \Omega$

$$\rho = 1,0925\Omega \cdot m$$

$L = 2m \dots \text{délka vodiče podle umístění roznětné náložky ve vývrtu} \dots \dots m$

- **vypočteme si odpor jedné rozbušky:** $R_1 = R_m + R_{př.v.} = R_m + \rho \cdot 2 \cdot l_{př.v.}$

$$R_1 = 1,2 + 1,0925 \cdot 2 \cdot 2$$

$$R_1 = \underline{\underline{0,57\Omega}}$$

- **poté vypočteme celkový odpor sítě pro 45 kusů rozbušek:** $R_c = N \cdot R_1 + R_{HV}$
 $R_c = 45 \cdot 0,57 + 1,6$

$$R_c = \underline{\underline{29,25\Omega}}$$

$R_1 \dots \text{odpor jednoho rozněcovadla} \dots \dots \Omega$

$N \dots \text{celkový počet rozněcovadel} \dots \dots$

$R_{př.v.} \dots \text{odpor přívodních vodičů rozněcovadla} \dots \dots \Omega$

- **zapojení rozbušek na místě odstřelu (roznětná síť) – odpor sítě při paralelním zapojení:**

$$R_c = R_{HV} + \frac{R_1}{N} = 3,6 + \frac{0,57}{45} = 3,6 + 0,0127 = \underline{\underline{3,6127\Omega}} \quad \underline{\underline{3,613\Omega}}$$

$R_c \dots \text{celkový odpor roznětného vedení} \dots \dots \Omega$

- **volba roznětnice** – zvolíme si roznětnici kondenzátorovou typu KRAB - 1200 s parametry:

$$U = 200V \quad U \dots \text{napětí kondenzátorové roznětnice} \dots \text{V}$$

$$C = 1,6 \cdot 10^{-5} F \quad C \dots \text{kapacita kondenzátorové roznětnice} \dots F$$

- po provedení výpočtu odporů rozbušek musíme provést posudek jistoty roznětu:

$$L_{akt} = 50mJ / \Omega$$

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (R_{HV}^2 + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right) \dots J / \Omega$$

$$\tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right) \dots s$$

$$t_z = 0,004s \dots \text{zážehový čas rozbušky} \dots s$$

$$L_z \dots \text{zážehový impuls} \dots J / \Omega$$

$n \dots$ počet paralelních větví

$$\tau \dots \text{časová vybíjecí konstanta kondenzátoru} \dots s$$

$$L_{akt} \dots \text{aktivační impuls použitých rozněcovadel} \dots J / \Omega$$

- jistota roznětu se posuzuje podle podmínky spolehlivosti roznětu: $L_z \geq L_{akt}$

- elektronické rozbušky se sice mohou zapojovat pouze paralelně, ale roznětnice kondenzátorová se může zapojit pouze do série, proto jsem zapojení spočetla jen do série (tj. pro počet větví $n = 1$):

$$n=1: \tau = C \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_p}{n^2} \right)$$

$$\tau = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot \left(3,6 + \frac{29,25}{1^2} \right)$$

$$\tau = 0,000468s$$

$$L_z = \frac{U^2 \cdot C}{2 \cdot (R_{HV}^2 + R_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}} \right)$$

$$L_z = \frac{1200^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot (3,6 + 29,25)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot 0,004}{0,000468}} \right)$$

$$L_z = 393,846mJ / \Omega$$

4. závěr

- 45 kusů elektronických rozbušek lze zapojit do série (tj. s počtem větví $n = 1$),
- zapojit rozbušky paralelně, aby byla stále zajištěna podmínka spolehlivosti roznětu, lze pouze s počtem větví $n = 2$ až $n = 7$,
- při počtu větví $n = 8$ a výše, při paralelním zapojení, nebude možno rozbušky zapojit, neboť návrh roznětu by nevyhověl podmínce spolehlivosti roznětu.

4.3 Zhodnocení a porovnání výsledků

U obou příkladů bylo použito stejného typu rozbušky a stejného typu roznětnice:

1. velikost odporu hlavního vedení je u obou typů příkladů stejná, a to $R_{HV} = 3,6\Omega$,
2. velikost odporu jedné rozbušky je u obou typů příkladů stejná, a to $R_1 = 0,57\Omega$,
3. mění se velikost odporů všech rozbušek, a to s rostoucím počtem vývrtů (tj. počtem roznětných náloží),
4. u typizovaného díla profilu 00-0-9 je velikost odporu roznětné sítě při paralelním zapojení
$$R_c = R_{HV} + \frac{R_1}{N} = 3,6 + \frac{0,57}{25} = 3,6 + 0,0228 = 3,6228\Omega$$
a u kaloty silničního tunelu je velikost odporu roznětné sítě při paralelním zapojení
$$R_c = R_{HV} + \frac{R_1}{N} = 3,6 + \frac{0,57}{45} = 3,6 + 0,0127 = 3,6127 = 3,613\Omega,$$
5. rozdílná velikost odporu roznětné sítě je způsobená rozdílným počtem vývrtů, protože u profilu 00-0-9 je zapotřebí 25 vývrtů a u kaloty silničního tunelu je zapotřebí 45 vývrtů,
6. odpory v roznětných sítích jsou pouze při paralelním zapojení u profilu díla 00-0-9 $0,0228\Omega$ a u kaloty silničního tunelu $0,0127\Omega$, při sériovém zapojení je odpor roznětné sítě pro profil díla 00-0-9 $14,25\Omega$ a pro kalotu silničního tunelu $25,65\Omega$,
7. u profilu díla 00-0-9 je při zapojení do série celkový odpor sítě $17,8\Omega$ a při paralelním zapojení je celkový odpor $3,6\Omega$,
8. u příkladu kaloty silničního tunelu je při sériovém zapojení odpor celé sítě $29,5\Omega$ a při paralelním zapojení je celkový odpor $3,6\Omega$,
9. s rostoucím počtem vývrtů (roznětných náloží) roste i odpor sítě při sériovém zapojení a snižuje se zážehový impulz pro kondenzátorové roznětnice,
10. u paralelního zapojení hraje největší roli odpor hlavního přívodního vedení.

5. Zhodnocení a závěr

Používání výbušnin v hornictví v Evropě se datuje od 17. století. K významným objevům však došlo až v průběhu 19. a 20. století a tím se výbušniny staly klíčovým a základním prvkem při těžbě surovin (rudných i nerudných) a ve stavebních činnostech. Století 19. té a 20. té byly doby, kdy trhaviny, rozněcovadla a další prvky trhací techniky prošly mnoha vývojovými stupni. V dnešní uspěchané době se výroba čím dál častěji přesouvá na místo jejich použití a stavebnímu průmyslu se přizpůsobují i jednotlivé druhy trhavin. S celkovým rozvojem nových technologií a metod se v současnosti v zemích Evropské Unie spotřebuje okolo 600 000 tun trhavin a 60 milionů kusů rozbušek. Tento trend měl také významný podíl na výrobě nového druhu rozbušky a to elektronické. Největší důraz se po celou dobu používání jednotlivých prostředků trhací techniky klade na bezpečnost, nejenom při výrobě, ale i při samotném použití, manipulaci či přepravě a skladování.

Elektronické rozbušky reprezentují poslední vývojovou řadu rozbušek, které jsou nyní běžně k dispozici na trhu. Patří k nejmodernějším produktům trhacích prací. Předpokládá se, že elektronické rozbušky jsou absolutně bezpečné. Vždy bychom měli myslet ale na to, že se rozbušky nesmí skladovat ve společných prostorách s trhavinami.

V současnosti je více než jasné, že výstavba podzemních kolektorů a tunelů nejen u nás, ale i ve světovém měřítku, zejména v centrech velkých měst jako je Praha, je na špičce. Význam podzemních staveb v současnosti neustále narůstá, neboť umožňuje bezkolizní spojení se zeměmi, které jsou odděleny horami či mořskými úžinami. Prováděním podzemních staveb se řeší také zásobování městských aglomerací vodou, odvodňování či odvádění nečistot a splašků, přetížená městská hromadná a automobilová doprava, parkování, a jiné problémy, a to vše s ohledem na životní prostředí.

Používání elektronických rozbušek je jednoznačně výhodné pouze na místech, kde je potřeby vysokého počtu rozbušek a kde je nutné výrazně snížit seizmické působení výbuchu náloží na okolní prostředí. Používají se také proto, že s jejich použitím lze dosáhnout vyšších výkonů i při předem stanovených omezujících podmínkách trhacích prací.

Nový roznětný systém by měl být dokonalý, měl by umožňovat libovolné časové variace ze strany časování odstřelu, a to proto, aby se zlepšila kvalita fragmentace (rovnoměrného rozdrčení vyrubané horniny) a měl by být naprosto bezpečný. Elektronický roznětný systém splňuje veškeré předpoklady, aby těmto podmínkám bez jakýchkoliv potíží vyhověl. Elektronický systém roznětu je kombinací výhod elektřiny i neelektřiny. Je kdykoliv a na jakémkoli místě kontrolovatelný a je absolutně netečný vůči cizím vlivům. U tohoto typu roznětu nemůže dojít k předčasné iniciaci, neboť ta je spouštěna pomocí logického obvodu. Elektronický roznětný systém s sebou nese zvýšení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

[2, 3, 4, 5]

Osobním přínosem při zpracovávání mé bakalářské práce bylo v seznámení se s inovačními postupy v roznětu náloží, získání obecného přehledu o výbušninách a o jednotlivých typech roznětů a rozšíření si znalostí v oblasti trhacích prací. Došla jsem k závěru, že práce se systémem elektronickým je bezpečná, rychlá, přehledná, a hlavně dobře kontrolovatelná a že doba plnohodnotného používání elektronického roznětu se velmi rychle blíží.

Seznam zdrojů a použité literatury

- [1] Bartoš, J., Mečíř, R.: *Příručka pro střelmistry v hornictví, stavebnictví a ostatních oborech*, druhé, přepracované vydání, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1975
- [2] Dojčár, O., Horký, J., Kořínek, R.: *Trhacia technika*, Ostrava: Vydavatelství MONTANEX, a. s., 1996
- [3] Klepsatel, F., Kusý, P., Mařík, L.: *Výstavba tunelů ve skalních horninách*, Bratislava: vydavatelství Jaga group, v. o. s., 2003
- [4] Pravda, V., Čeliš, P.: *Zkušenosti z použití elektronických rozbušek a nabíjecích vozů při ražbách tunelů Blanka, Praha*, Referát konference Hrotovic, 2010
- [5] Pravda, V., Čeliš, P.: *Efektivita trhacích prací při použití elektronických rozbušek, ražba tunelů Blanky, lom Luleč*, Referát konference Astra Srby, 2010
- [6] elektrická rozbuška, elektrický palník, dostupné z www.wikipedia.cz
- [7] elektronická rozbuška E*Star, dostupná z www.austin.cz
- [8] elektronická rozbuška I-konTM, dostupná z www.orica.com
- [9] elektronická rozbuška, elektrická rozbuška, dostupné z www.austin.cz
- [10] elektronická rozbuška, dostupná z www.google.cz
- [11] elektronický roznět, dostupný z www.austin.cz
- [12] elektronický zpoždovač, dostupný z www.austin.cz
- [13] http://forum.valka.cz/attachments/1058/_e_-B.jpg

[14] <http://www.hornictvi.info/prirucka/technika/odstrely.htm>

[15] rozbuška, dostupná z www.wikipedia.cz

Seznam obrázků

Obrázek 1: Elektrický palník, [6]

Obrázek 2: Schéma průmyslové rozbušky, [14]

Obrázek 3: Elektrická rozbuška a schéma zakreslení elektrické milisekundové rozbušky, [6]

Obrázek 4: Časovaná elektrická rozbuška, [14]

Obrázek 5: Jednotlivé typy elektrických rozbušek firmy Austin Detonator, [9]

Obrázek 6: Schéma elektronické rozbušky, [10]

Obrázek 7: Druhy časovacích zařízení Logger, [9]

Obrázek 8: Odpalovací zařízení DBM 10 – S, [9]

Obrázek 9: Elektronická rozbuška E*Star firmy Austin Detonator, [7]

Obrázek 10: Elektronická rozbuška I-kon firmy Orica, [8]

Obrázek 11: Pyrotechnické a elektronické zpožďovače, [12]